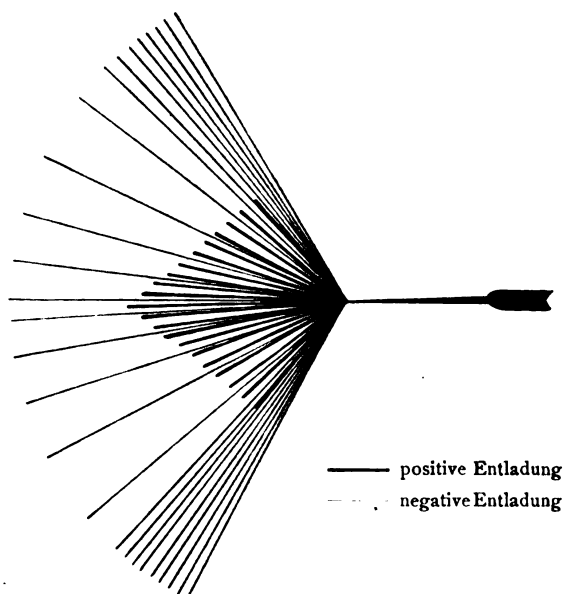


die Platte, indem man die Platte in geeigneter Weise ausschneidet, so lässt sich letztere selbst in nächstem Abstände nicht mit positiver Ladung versehen. Messungen mit verschiedenen Ausschnittsgrößen zeigten, dass je grösser der Ausschnitt, umsomehr der Umkehrpunkt des Ladungssinnes an die Spitze herangerückt wird.



Analog diesen Resultaten sind die, welche ich mit Lichtenbergschen Staubfiguren erhalten habe: Durch das direkte Funkenspiel wurden zunächst Figuren gebildet, die den Charakter einer oszillierenden Leydener-Flaschen-Entladung haben, die negative Ladung befindet sich hier in der Mitte, die positive Ladung gruppiert sich dagegen sternförmig um diese herum. Dies beweist, dass aus der Spitze tatsächlich positive und negative Elektrizität ausströmt, wie

es schon Herr Himstedt auf andere Weise gezeigt hat.

Nach Abklingen des Funkenspiels werden die Figuren rein positiv und bei weiterem Abstände werden die positiven Figuren allmählich kleiner, so dass man zu dem Schlusse berechtigt ist, dass in der Verlängerungslinie der Spitze die positive Ausstrahlung am kräftigsten wirkt, da in dieser Richtung positive Ladungsteilchen noch auf die Platte gelangen, während für die nicht zentralen Teilchen die Kraft zur Erreichung der Platte nicht mehr ausreicht.

Die Umkehr der positiven in die negative Ladung erklärt sich also so, dass die positiven Büschelentladungen die Platte in einem Abstände von ca. 45 mm nicht mehr treffen und nur noch die sich weiter in den Raum fort-pflanzenden negativen Ladungsteilchen die Platte erreichen können, diese wirken sogar noch in einem Abstände von 75—100 cm deutlich.

Andererseits haben Versuche mit Lichtenbergschen Figuren nach einer von K. Antolik¹⁾ angegebenen Methode gezeigt, dass die Ausstrahlung aus der Spitze in Form eines Kegels vor sich geht, dessen äusserer Mantel ausschliesslich negative Elektrizität und dessen Inneres vorwiegend positive Büschelentladungen enthält (s. Figur).

Der Winkel, den die Strahlung bildet, beträgt, wie weitere Versuche zeigen, ca. 120° ; nähert man der Spitze einen Gegenstand, so wird der Winkel allmählich stumpfer.

Ausführlichere Mitteilungen über meine Versuchsanordnungen und Resultate behalte ich mir vor, demnächst zu veröffentlichen.

¹⁾ K. Antolik, Zeitschr. f. phys. u. chem. Unterr. 1891/92, 5.

Rostock, Physikalisches Institut, den 27. November 1900.

(Eingegangen 28. November 1900.)

VORTRÄGE UND REDEN.

Über die Beziehungen zwischen der experimentellen und der mathematischen Physik.

Von H. Poincaré.¹⁾

Bedeutung des Experimentes und der Verallgemeinerung.

Das Experiment ist die einzige Quelle der Wahrheit: einzig das Experiment kann uns

¹⁾ Vortrag gehalten auf dem internationalen Physiker-

etwas Neues lehren; nur es kann uns Gewissheit verschaffen. Das sind zwei Sätze, die niemand bestreiten kann.

Wenn aber das Experiment alles bedeutet, welcher Platz bleibt für die mathematische Physik übrig? Was hat dann die Experimentalphysik mit einem solchen Hilfsmittel zu thun, welches

kongress zu Paris, am 7. August 1900. Siehe Rapports du Congrès International de Physique, tome I, 1—29, Paris 1900.

unnütz und vielleicht sogar gefährlich erscheint?

Und trotzdem giebt es eine mathematische Physik; ja sie hat unleugbare Dienste geleistet; das ist eine Thatsache, mit der wir uns ausinandersetzen müssen.

Es genügt eben nicht, dass man beobachtet, die Beobachtungen müssen auch verwertet werden; und dazu muss man verallgemeinern. Das hat man zu allen Zeiten gethan; nur hat man, da die Erinnerung an vergangene Irrtümer den Menschen immer umsichtiger gemacht hat, immer mehr beobachtet und immer weniger verallgemeinert.

Jedes Jahrhundert machte sich über das Vergangene lustig und warf ihm vor, zu schnell und zu naiv verallgemeinert zu haben. Descartes sah mitleidig auf die Ionier herab; Descartes seinerseits wird von uns belächelt; ohne Frage werden auch unsere Nachkommen eines Tages über uns lachen.

Können wir denn aber nicht ohne weiteres ans Ziel gelangen? Giebt es kein Mittel, diesem Spotte zu entinnen, den wir vor uns sehen? Können wir uns nicht mit dem reinen Experimente begnügen?

Nein, das ist unmöglich; das hiesse vollständig den wahren Charakter der Wissenschaft verkennen. Der Forscher muss ordnen; man macht Wissenschaft aus Thatsachen, wie man ein Haus aus Steinen baut; aber eine Anhäufung von Thatsachen ist noch ebenso wenig eine Wissenschaft, wie ein Haufen Steine ein Haus.

Vor allen Dingen muss der Forscher vorsehen. Carlyle schrieb einmal irgendwo folgendes: „Auf die Thatsache allein kommt es an; Johann ohne Land ist hier vorüber gekommen, woblan, das ist bewundernswert, das ist eine Wirklichkeit, für die ich alle Theorien der Welt hingäbe.“ Carlyle war ein Landsmann von Bacon; wie dieser predigte er unablässig die Verehrung „for the God of Things as they are“; aber Bacon hätte so etwas nicht gesagt. Das ist die Sprache des Geschichtsschreibers. Der Physiker würde vielmehr sagen: „Johann ohne Land ist hier vorüber gekommen; das ist mir ganz gleichgültig, da er doch nicht mehr vorbeikommen wird.“

Wir wissen alle, dass es gute und schlechte Experimente giebt, die letzteren wird man vergebens häufen; ob man ihrer Hundert, ob man ihrer Tausende macht, eine einzige Arbeit eines wahren Meisters, eines Pasteur z.B., wird genügen, sie in Vergessenheit geraten zu lassen. Bacon würde das sehr wohl verstanden haben, er ist es ja, der das Wort experimentum crucis erfunden hat. Aber Carlyle durfte das nicht verstehen. Eine Thatsache ist eine Thatsache; ein Schüler hat eine Zahl auf seinem Thermometer abgelesen, irgend eine Vorsicht hat er

dabei nicht gebraucht; das thut nichts zur Sache, er hat sie abgelesen, und wenn eben nur die Thatsache etwas gilt, so hat er da mit demselben Anspruch eine Wirklichkeit, wie die Pilgerfahrten des Königs Johann ohne Land sind. Was ist also ein gutes Experiment? Das ist ein solches, welches uns etwas Anderes kennen lehrt, wie eine blossе Thatsache; welches uns voraussehen, d. h. verallgemeinern lehrt.

Denn ohne Verallgemeinerung ist eine Voraussicht unmöglich. Die Umstände, unter denen man operiert hat, werden sich nie in ganz derselben Weise wiederholen. Die beobachtete Thatsache wird also niemals noch einmal eintreten; das einzige, was man behaupten kann, ist, dass unter analogen Umständen eine analoge Thatsache eintreten wird. Um vorauszusehen, muss man also zum mindesten die Analogie zu Hilfe nehmen, d. h. aber schon verallgemeinern.

So gewissenhaft man aber auch sein mag, man muss notwendigerweise interpolieren; das Experiment giebt uns nur eine bestimmte Anzahl von vereinzelteten Punkten, man muss sie durch eine kontinuierliche Kurve verbinden; das ist eine regelrechte Verallgemeinerung. Aber man thut noch mehr: die Kurve, welche man zieht, wird sich zwischen den beobachteten Punkten hindurch- und nahe bei ihnen vorbeiwinden; sie wird nicht durch diese Punkte selbst hindurchgehen. Man beschränkt sich also nicht darauf, das Experiment zu verallgemeinern, man verbessert es sogar; und der Physiker, der sich dieser Verbesserungen enthalten und sich in Wahrheit mit dem reinen Experimente begnügen wollte, würde gezwungen sein, ganz absonderliche Gesetze auszusprechen.

Die ganz nackten Thatsachen würden uns also nicht genügen; und darum brauchen wir eine geordnete oder richtiger eine organisierte Wissenschaft.

Man sagt oft, es sei nötig, ohne eine vorgefasste Idee zu experimentieren. Das ist aber garnicht möglich; nicht nur würde dadurch jedes Experiment unfruchtbar, sondern man würde etwas wollen, was man garnicht könnte. Jeder trägt in sich seine Auffassung von der Welt, von der er sich so leicht nicht frei machen kann. Wir müssen uns doch z. B. der Sprache bedienen, und unsere Sprache ist doch nur aus vorgefassten Ideen zusammengemengt, kann es auch nicht anders sein. Nur sind das unbewusst vorgefasste Ideen, die tausendmal gefährlicher sind, als die andern.

Wenn wir also andere aufkommen lassen, deren wir uns vollbewusst sind, werden wir dann das Übel etwa schlimmer machen? Ich glaube nicht; ich bin vielmehr der Ansicht, dass sie sich wechselseitig als Gegengewicht, ich möchte fast sagen, als Gegengift dienen werden; sie werden im allgemeinen schlecht miteinander

auskommen, die einen werden mit den andern in Konflikt geraten, und uns dadurch zwingen, die Dinge unter anderen Gesichtspunkten anzusehen. Das genügt, um uns zu befreien; man ist nicht mehr Sklave, wenn man sich seinen Herrn wählen kann.

So befähigt uns, dank der Verallgemeinerung, jede beobachtete Thatsache, eine ganze Anzahl weiterer vorauszusehen; nur dürfen wir nicht vergessen, dass die erste allein gewiss ist, dass alle weiteren aber besten Falls wahrscheinlich sind. So fest begründet uns auch eine Voraussicht erscheinen mag, wir sind doch niemals absolut sicher, dass das Experiment sie nicht zu Schanden machen wird, wenn wir daran gehen, sie wahr zu machen. Aber die Wahrscheinlichkeit ist oft gross genug, dass wir uns praktisch mit ihr zufrieden geben können. Es ist mehr wert, ohne Gewissheit vorauszusehen, als überhaupt nicht vorauszusehen.

Man darf es also niemals von der Hand weisen, eine Bestätigung vorzunehmen, wenn sich Gelegenheit dazu bietet. Aber jedes Experiment ist langwierig und schwer, der Arbeiter sind nicht gar so viele, und die Zahl der Thatsachen, welche wir voraussehen sollen, ist unendlich; dieser Masse gegenüber würde die Zahl der direkten Bestätigungen, die wir gewinnen könnten, garnicht in Betracht kommen.

Von diesem Wenigen, was uns direkt zugänglich ist, muss man den besten Teil erwählen; jedes Experiment muss uns eine möglichst grosse Zahl von zukünftigen Erfahrungen mit dem grösstmöglichen Grade von Wahrscheinlichkeit vorauszusehen gestatten. Es gilt sozusagen, den Nutzeffekt der wissenschaftlichen Maschine zu erhöhen.

Es sei mir gestattet, die Wissenschaft mit einer Bibliothek zu vergleichen, die ohne Unterlass wachsen muss; der Bibliothekar verfügt für seine Einkäufe nur über ungenügende Kredite, er muss bemüht sein, sie nicht zu verschleudern.

Die Experimentalphysik nun ist es, die die Einkäufe zu besorgen hat; sie allein also kann die Bibliothek bereichern.

Die mathematische Physik andererseits hat die Aufgabe, den Katalog in Stand zu halten. Wenn der Katalog gut ist, wird die Bibliothek zwar nicht reicher sein, aber sie wird dem Leser helfen, sich dieser Reichtümer zu bedienen.

Er wird ferner dem Bibliothekar helfen, seine Kredite umsichtig zu verwenden, indem er ihm die Lücken seiner Sammlung zeigt; und das ist um so wichtiger, da seine Mittel durchaus unzulänglich sind.

Dies ist also die Aufgabe der mathematischen Physik, sie muss die Verallgemeinerung derart leiten, dass sie das vermehrt, was ich soeben den Nutzeffekt der Wissenschaft genannt habe.

Wie sie dazu gelangt, und wie sie es ohne Gefahr thun kann, ist, was uns zu untersuchen übrig bleibt.

Die Einheitlichkeit der Natur.

Vorerst ist zu beachten, dass jede Verallgemeinerung gewissermassen den Glauben an die Einheitlichkeit und die Einfachheit der Natur zur Voraussetzung hat. In Bezug auf die Einheitlichkeit kann es eine Schwierigkeit hier nicht geben. Wenn nicht die einzelnen Teile des Weltalls sich wie die Glieder eines und desselben Körpers verhielten, so würden sie nicht aufeinander wirken, sie würden sich gegenseitig ignorieren; und wir insbesondere würden nur einen einzigen davon kennen. Wir haben uns also nicht zu fragen, ob die Natur einheitlich ist, sondern in welchem Sinne sie es ist.

Was den zweiten Punkt betrifft, so ist die Sache hier nicht so leicht. Es ist keineswegs sicher, dass die Natur einfach ist. Können wir ohne Gefahr so thun, als ob sie es wäre?

Es gab eine Zeit, wo die Einfachheit des Marriotteschen Gesetzes als beliebtes Argument zu Gunsten seiner Genauigkeit galt; wo sich selbst Fresnel, nachdem er in einer Unterhaltung mit Laplace gesagt hatte, die Natur kümmere sich nicht um analytische Schwierigkeiten, für verpflichtet hielt, dieses Wort näher auseinander zu setzen, um der herrschenden Meinung nicht allzusehr vor den Kopf zu stossen.

Heutzutage haben sich die Anschauungen sehr geändert; und trotzdem sehen sich diejenigen, die durchaus nicht glauben, die Naturgesetze müssten einfach sein, auch heute noch häufig gezwungen so zu thun, als ob sie es glaubten. Sie können sich dieser Notwendigkeit nicht ganz entziehen, ohne jede Verallgemeinerung und damit jede Wissenschaft unmöglich zu machen.

Es ist klar, dass irgend eine Thatsache in unzählig vieler Weise verallgemeinert werden kann, und es ist notwendig, eine Auswahl zu treffen; diese Auswahl wird sich nur durch Erwägungen der Einfachheit leiten lassen. Nehmen wir den alleralltäglichsten Fall, den der Interpolation. Wir ziehen eine kontinuierliche Kurve so regelmässig als möglich zwischen den durch die Beobachtung gegebenen Punkten hindurch. Warum vermeiden wir Ecken und allzu scharfe Biegungen? Warum hüten wir uns, unsere Kurve im Zickzack laufen zu lassen? Weil wir voraus wissen oder wenigstens zu wissen glauben, dass das zum Ausdruck zu bringende Gesetz nicht so kompliziert sein kann.

Man kann die Masse des Jupiter entweder aus den Bewegungen seiner Monde oder aus

den Störungen der grossen Planeten oder denjenigen der kleinen Planeten berechnen. Wenn man den Mittelwert der nach diesen drei Methoden erhaltenen Bestimmungen nimmt, so findet man drei benachbarte, aber doch sehr verschiedene Zahlen. Man könnte dieses Resultat so deuten, dass die Konstante der Schwerkraft in diesen drei Fällen nicht dieselbe sei. Die Beobachtungen wären dadurch sehr viel besser wiedergegeben. Warum weisen wir trotzdem diese Deutung von der Hand? Nicht weil sie absurd ist, sondern weil sie unnötig kompliziert ist. Man wird sie an demselben Tage annehmen, wo sie sich aufdrängt, aber sie hat sich noch nicht aufgedrängt. Kurz, jedes Gesetz wird meist für einfach gehalten, bis der Beweis vom Gegenteil erbracht ist.

Diese Gewohnheit hat sich den Physikern aufgedrängt durch Gründe, die ich auseinanderzusetzen will; aber wie ist sie zu rechtfertigen, im Angesichte der Entdeckungen, die uns mit jedem Tage neue, reichere und verwickeltere Einzelheiten zeigen? Wie lässt sie sich in Einklang bringen mit dem Gefühle der Einheitlichkeit der Natur? Denn wenn alles von allem abhängig ist, so können die Beziehungen, bei denen so vielerlei Dinge eine Rolle spielen, nicht mehr einfach sein.

Wenn wir die Geschichte der Wissenschaft studieren, so beobachten wir zweierlei, sozusagen entgegengesetzte Fälle: bald verbirgt sich die Einfachheit hinter verwickelten Erscheinungen, bald dagegen tritt die Einfachheit zu Tage und verschleiert in Wirklichkeit äusserst komplizierte Vorgänge.

Was kann es Komplizierteres geben als die wirren Planetenbewegungen, und was Einfacheres als das Gesetz von Newton? Hier verwendet die Natur, jeder analytischen Schwierigkeit spottend, wie Fresnel sagte, nur einfache Mittel und erzeugt durch ihr Zusammenwirken ein wer weiss wie unauflösliches Gewirre. Und es gilt hier, die verschleierte Einfachheit zu enthüllen.

Beispiele vom Gegenteil giebt es in Hülle. In der kinetischen Gastheorie betrachtet man die Moleküle als von grossen Geschwindigkeiten belebt, deren Bahnen, durch unaufhörliche Stösse verwirrt, die seltsamsten Formen bilden und den Raum nach allen Richtungen hin durchfurchen. Das Resultat, was zu Tage tritt, ist das einfache Mariottesche Gesetz; jede Einzelthatsache war verwickelt, das Gesetz der grossen Zahlen hat die Einfachheit im Mittelwerte wieder hergestellt. Hier tritt also die Einfachheit zu Tage, und die Grobheit unserer Sinne verhindert uns, die Kompliziertheit wahrzunehmen.

Viele Erscheinungen gehorchen einem Gesetze der Proportionalität; aber warum? Weil es

bei diesen Erscheinungen etwas giebt, was sehr klein ist. Das einfache beobachtete Gesetz ist dann nur eine Übertragung der allgemeinen analytischen Regel, nach der ein unendlich kleiner Zuwachs der Funktion proportional dem Zuwachs der Variablen ist. Da in Wahrheit der Zuwachs bei unseren Beobachtungen nicht unendlich klein, sondern nur sehr klein ist, so ist das Gesetz der Proportionalität nur ein angenähertes und die Einfachheit nur eine scheinbare. Was ich eben gesagt habe, gilt ebenso für das Prinzip der Superposition kleiner Bewegungen, dessen Anwendung so fruchtbar ist, und welches die Grundlage der Optik bildet.

Und das Newtonsche Gesetz selbst? Seine Einfachheit, die solange verborgen war, ist vielleicht auch nur eine scheinbare. Wer weiss, ob es nicht auch eine Folge ist irgend eines komplizierten Mechanismus, eines Stosses irgend einer subtilen, von unregelmässigen Bewegungen belebten Materie, und ob es nicht nur durch das Spiel der Mittelwerte und der grossen Zahlen einfach geworden ist? Jedenfalls ist es schwer, nicht anzunehmen, dass das einfache Gesetz Restglieder enthält, die sich erst bei kleinen Entfernungen geltend machen. Wenn sie in der Astronomie gegenüber denjenigen Newtons vernachlässigt werden können, und das Gesetz so seine Einfachheit wiedergewinnt, so wäre das nur der Ungeheuerlichkeit der himmlischen Entfernungen zu danken.

Zweifellos: wenn unsere Untersuchungsmittel feiner und feiner würden, so würden wir zunächst das Einfache hinter dem Verwickelten entdecken, dann wieder das Verwickelte hinter dem Einfachen, schliesslich abermals das Einfache hinter dem Verwickelten und so fort, ohne dass wir voraussehen könnten, welches der letzte Ausdruck sein würde.

Irgendwo muss man aufhören; und damit die Wissenschaft möglich ist, muss man aufhören, wenn man die Einfachheit gefunden hat. Das ist der einzige Grund, auf welchem wir das Gebäude unserer Verallgemeinerungen aufrichten können. Aber, wenn diese Einfachheit nur eine scheinbare ist, wird dieser Grund fest genug sein? Wir wollen das untersuchen.

Dazu wollen wir ins Auge fassen, welche Rolle bei unseren Verallgemeinerungen der Glaube an die Einfachheit spielt. Wir haben ein einfaches Gesetz in einer genügend grossen Zahl von Einzelfällen bestätigt; wir weigern uns, zuzugeben, dass dieses so oft wiederholte Zusammentreffen bloss eine Wirkung des Zufalls sei, und wir schliessen daraus, dass das Gesetz im allgemeinen Falle wahr sein muss.

Kepler bemerkt, dass die von Tycho beobachteten Stellungen eines Planeten alle auf derselben Ellipse liegen. Er kommt keinen

Augenblick auf den Gedanken, Tycho könnte durch ein merkwürdiges Spiel des Zufalls den Himmel immer nur in den Zeitpunkten beobachtet haben, wo die wahre Bahn des Planeten diese Ellipse gerade schnitt.

Was bedeutet es demnach, dass die Wahrheit einfach ist, oder dass sie eine verwickelte Wahrheit verdeckt? Sei sie nun dem Einflusse der grossen Zahlen zuzuschreiben, welche die individuellen Verschiedenheiten ausgleicht, oder werde sie dem relativen Werte gewisser Grössen verdankt, welcher bestimmte Ausdrücke zu vernachlässigen erlaubt, jedenfalls ist sie keine Folge des Zufalls. Diese Einfachheit, wirklich oder scheinbar, hat immer einen Grund. Wir werden also immer die nämliche Überlegung anstellen können; und wenn ein einfaches Gesetz in mehreren Einzelfällen beobachtet worden ist, so werden wir streng annehmen können, dass es auch in den analogen Fällen wahr ist. Uns hieran hindern, hiesse dem Zufall eine unzulässige Rolle zuschieben.

Indessen gilt es Unterschiede zu machen. Wenn die Einfachheit eine wirkliche und tiefer begründete wäre, so würde sie vor der wachsenden Genauigkeit unserer Messinstrumente Stand halten. Denn wenn wir die Natur im Grunde für einfach hielten, so müssten wir von einer angenäherten Einfachheit auf strenge Einfachheit schliessen. Das hat man auch einst gethan; wir aber haben das Recht nicht mehr, es zu thun.

Die Einfachheit der Keplerschen Gesetze beispielsweise ist nur eine scheinbare. Das hindert keineswegs, sie auf alle dem Sonnensysteme analogen Systeme anzuwenden, aber es hindert, dass sie streng richtig sind.

Die Bedeutung der Hypothese.

Jede Verallgemeinerung ist eine Hypothese; die Hypothese hat also eine notwendige Bedeutung, die noch nie jemand bestritten hat. Nur muss sie alle Zeit, so bald und so oft als möglich, der Bestätigung unterzogen werden. Es ist selbstverständlich, dass man sie ohne Hintergedanken verlassen muss, wenn sie diese Prüfung nicht besteht. Das geschieht auch im allgemeinen, aber zuweilen mit einem gewissen bitteren Gefühle.

Freilich selbst dieses bittere Gefühl ist nicht gerechtfertigt. Der Physiker, der in der Lage ist, auf eine seiner Hypothesen zu verzichten, müsste im Gegenteil voller Freude sein, denn er ist im Begriff, eine unverhoffte Gelegenheit zu Entdeckungen zu finden. Seine Hypothese, bilde ich mir ein, war nicht so leicht hin angenommen worden; sie trug allen denjenigen bekannten Faktoren Rechnung, die an der Erscheinung mitwirken zu können schienen. Wenn die Bestätigung ausbleibt, so heisst das,

dass irgend etwas Unerwartetes, Aussergewöhnliches da ist; man ist also im Begriff, etwas Neues zu finden.

Ist eine Hypothese, die so zu Falle kommt unfruchtbar gewesen? Weit entfernt. Man kann vielmehr sagen, dass sie mehr Dienste geleistet hat, als eine wahre Hypothese; sie war nicht nur die Veranlassung zu einem entscheidenden Experiment, sondern man würde ohne die Hypothese dieses Experiment höchstens zufällig gemacht haben, so dass man nichts daraus geschlossen haben würde; man würde nichts Aussergewöhnliches darin erblickt haben, man würde nur eine Thatsache mehr registriert haben ohne eine Konsequenz daraus zu ziehen.

Unter welcher Bedingung ist nun die Verwendung der Hypothese ohne Gefahr?

Der feste Vorsatz, sich dem Experimente zu unterwerfen, genügt nicht; es giebt auch dann noch gefährliche Hypothesen; das sind in erster Linie und immer diejenigen, die verschwiegen und unbewusst sind. Da wir sie machen, ohne es zu wissen, sind wir ohnmächtig, sie zu verlassen. Hier kann uns also die mathematische Physik noch einen weiteren Dienst leisten. Durch die Strenge, die ihr eigen ist, zwingt sie uns, alle Hypothesen zu formulieren, die wir auch ohne sie machen könnten, über die sie uns aber in keinem Zweifel lässt.

Halten wir auf der andern Seite fest, dass es wichtig ist, die Hypothesen nicht ohne Maass zu häufen und immer nur eine nach der andern aufzustellen. Wenn wir eine auf mehrfache Hypothesen begründete Theorie aufstellen, und wenn das Experiment dieselbe verwirft, welche von unseren Voraussetzungen müssen wir dann ändern? Es wäre unmöglich, das zu wissen. Und umgekehrt, wenn das Experiment glückt, wird man dann glauben, alle Hypothesen auf einmal bestätigt zu haben? Wird man glauben, durch eine einzige Gleichung mehrere Unbekannte bestimmt zu haben?

In gleicher Weise muss man Sorge tragen, zwischen den verschiedenen Arten von Hypothesen zu unterscheiden. Man hat da in erster Linie solche, die durchaus natürlich sind, und denen man sich kaum entziehen könnte. Es ist schwer, nicht anzunehmen, dass der Einfluss sehr entfernter Körper vollständig vernachlässigt werden kann, dass die kleinen Bewegungen einem linearen Gesetze gehorchen, dass die Wirkung eine stetige Funktion ihrer Ursache ist. Ich möchte das gleichsam als Bedingungen bezeichnen, die durch Symmetrie vorgeschrieben sind. Alle diese Hypothesen bilden sozusagen den gemeinsamen Boden aller Theorien der mathematischen Physik. Es sind die letzten, die man aufzugeben braucht.

Eine zweite Klasse von Hypothesen möchte ich als die indifferenten bezeichnen. Bei den

meisten Fragen setzt der Analytiker beim Beginn seiner Rechnung voraus, dass die Materie entweder kontinuierlich oder dass sie im Gegenteil aus Atomen zusammengesetzt ist. Er würde auch etwas ganz Anderes gethan haben, wenn nur seine Resultate dadurch nicht geändert würden; vielleicht hätte er dadurch mehr Mühe gehabt, sie zu erhalten, das wäre alles. Wenn jetzt das Experiment seine Schlussfolgerungen bestätigt, wird er dann denken, beispielsweise die wahre Existenz von Atomen nachgewiesen zu haben?

In die optischen Theorien werden zwei Vektoren eingeführt, von denen man den einen als Geschwindigkeit, den anderen als Kreisbewegung ansieht. Das ist so eine indifferente Hypothese, da man zu denselben Schlüssen gelangt wäre, wenn man das gerade Gegenteil gethan hätte; denn der Erfolg des Experimentes kann nicht beweisen, dass der erste Vektor in der That eine Geschwindigkeit ist; er beweist nur eins, nämlich, dass es ein Vektor ist; das ist die einzige Hypothese, die man in der That in die Voraussetzungen eingeführt hat. Um ihm einen konkreten Inhalt zu geben, wie ihn die Schwäche unseres Geistes verlangt, musste man ihn ent-

weder als Geschwindigkeit oder als Kreisbewegung ansehen; ebenso gut hätte man ihn durch einen Buchstaben x oder y darstellen können; wie aber auch immer das Resultat ausfällt, es wird niemals beweisen, dass man Recht oder Unrecht gehabt habe, ihn als eine Geschwindigkeit anzusehen; sowenig wie es beweisen wird, ob man Recht oder Unrecht gehabt habe, ihn x und nicht y zu nennen.

Diese indifferenten Hypothesen sind niemals gefährlich, vorausgesetzt, dass man nicht ihren Charakter verkennt. Sie können nützlich sein, sei es, als Kunstgriffe der Rechnung, sei es, um unser Begriffsvermögen durch konkrete Bilder zu stützen und die Ideen zu fixieren, wie man sagt. Man braucht sie daher nicht in die Acht zu erklären.

Die Hypothesen der dritten Klasse sind die wahren Verallgemeinerungen. Sie sind es, die das Experiment bestätigen oder verwerfen muss. Bestätigt oder verworfen, werden sie immer fruchtbar sein. Aber aus den Gründen, die ich auseinandergesetzt habe, werden sie es nur dann sein, wenn man sie nicht häuft.

(Fortsetzung folgt.)

REFERATE ÜBER DIE BERICHTE DES INTERNATIONALEN PHYSIKERKONGRESSES ZU PARIS.

M. R. Bourgeois, Verteilung der Schwereintensität auf der Erdoberfläche. 21 Seiten.

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Bestimmung der Schwerebeschleunigung auf der Erdoberfläche. Im ersten Teil giebt der Verfasser die historische Entwicklung der Beobachtungsmethoden. Als Galilei 1629 die Grundgesetze der Schwingungsdauer eines Pendels aufstellte, als ein halbes Jahrhundert später Huyghens das Wesen des physischen Pendels aufklärte, als zu gleicher Zeit Abt Picard in dem Bestreben, das Pendel als Uhrregulator verwertbar zu machen, den Einfluss der Temperatur auf die Schwingungsdauer untersuchte und den Vorschlag machte, die Länge des Sekundenpendels als Längeneinheit zu benutzen, da dachte noch niemand daran, dass an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche die Länge des Sekundenpendels verschieden sein könnte. Erst Richer fand bei seinen Beobachtungen vom Jahre 1672, dass die Länge des Sekundenpendels unter dem Äquator kleiner ist als unter höheren Breiten. Newton erklärte diese Erscheinung durch die Rotation

und Abplattung der Erde, doch verging noch längere Zeit, bis seine Ansicht allgemeine Anerkennung gefunden hatte. Von nun an benutzte man das Pendel, um überall auf der Erde Schwerebestimmungen zu machen, es wurde der ständige Begleiter aller grösseren wissenschaftlichen Reisen, und man strebte eifrig dahin, es für diesen Zweck mehr und mehr zu vervollkommen. Doch zwei volle Jahrhunderte waren notwendig, um einwandfreie Beobachtungen zu ermöglichen. Bernoulli gab die Reduktion auf unendlich kleine Amplitude, Bouguer die Reduktion auf das Meeresniveau und die Untersuchung des hydrostatischen Auftriebes der umgebenden Luft, Mairan und Böscowich die wertvolle Beobachtungsmethode der Koinzidenzen. Während die ersten Beobachter, unter ihnen Borda und Bessel, durch Realisierung des mathematischen Pendels überall absolute Messungen zu gewinnen suchten, beschränkte man sich später darauf, dies an einigen wenigen Fundamentalpunkten zu thun, und machte im übrigen nur relative Bestimmungen der Schwere mit Hilfe des leicht trans-

Ich weiss danach nicht recht, ob mein Beweis falsch sein soll, oder ob Herr Wien nur sagen will, ich hätte in meiner Abhandlung an Beispielen zeigen müssen, dass der Poynting'sche Vektor Wirbel besitzen kann, und zwar natürlich auch mit der Zeit veränderliche Wirbel. Falls das zweite gemeint ist, so kann ich erwidern, dass ich es nur der Kürze wegen unterlassen habe, Beispiele zu bringen, die mir auf der Hand zu liegen schienen. Man braucht sich ja beispielsweise nur eine Lichtstrahlung zu denken, welche an einem schattenwerfenden Körper vorbeigeht. Im Schatten ist der Energiestrom Null, im Lichte dagegen nicht, also muss die Schattengrenze aus Wirbelstellen des Poynting'schen Vektors bestehen. Will man, wie Herr Wien es zu wünschen scheint, das Beispiel noch etwas genauer ausführen, so stelle man sich zunächst den Zeitraum vor, der von der Entzündung des Lichtes bis zu dem Augenblick verstreicht, wo der schattenwerfende Körper erreicht ist. In diesem ganzen Zeitraum hat der Energiestrom keine Wirbel. Erst in dem Augenblick, wo das Licht am Körper ankommt, bildet sich die Schattengrenze, d. h. die Wirbelschicht. Damit ist die Existenz zeitlich veränderlicher Wirbel gezeigt. Dergleichen triviale Beispiele liessen sich noch in Menge bilden, fast jedes Beispiel der Elektrodynamik überhaupt liesse sich benutzen.

Allerdings darf ich nicht verschweigen, dass schon hier ein wesentlicher Unterschied zwischen Herrn Wiens Ansicht und der meinigen hineinspielt über die Bedeutung meiner Integrale der Bewegungsgleichungen des Äthers. Herr Wien

meint: es sind nur mögliche Integrale; ich behaupte: es sind die einzig möglichen, wenn man die übrigen Helmholtz'schen Annahmen beibehält. Ich gestehe gerne, dass diese Meinungsdivergenz wesentlich dadurch verursacht ist, dass ich in meiner ersten Darstellung reichlich knapp gewesen bin. Da ich jedoch in kurzer Zeit eine neue Publikation über denselben Gegenstand beabsichtige, will ich jetzt noch nichts Genaueres bringen, um erst bei dieser Gelegenheit die Annahmen, auf denen meine Theorie beruht, noch einmal ganz ausführlich klarzulegen.

Völlig unverständlich ist mir aber der letzte Abschnitt der Wienschen Bemerkungen geblieben. Ich habe es bisher für einen allgemein anerkannten Satz gehalten, dass der Poynting'sche Vektor in einem statischen Felde nur auf geschlossenen Kurven verlaufen kann und demnach Wirbelstellen haben muss. Ich kann mir nicht recht denken, dass Herr Wien dies anzweifeln will. Er scheint es aber zu thun, indem er darauf hinweist, dass im Innern eines homogenen elektrischen und magnetischen Feldes keine Wirbelstellen vorhanden sind. Ich weiss nun nicht, ob Herr Wien übersieht, dass in diesem Falle der Rand des Feldes die Wirbelstellen enthält, oder ob sein Feld überhaupt keine Grenzen haben soll. Wie man ein unbegrenztes Feld herstellen kann, ist mir unbekannt. Herrn Wiens absprechendes Urteil über meine Versuche scheint mir also jeder positiven Grundlage zu entbehren.

(Eingegangen am 11. Dezember 1900.)

VORTRÄGE UND REDEN.

Über die Beziehungen zwischen der experimentellen und der mathematischen Physik.

Von H. Poincaré.

(Fortsetzung.)

Ursprung der mathematischen Physik.

Gehen wir weiter und studieren zunächst die Bedingungen, unter denen sich eine mathematische Physik entwickeln kann. Wir machen uns zunächst klar, dass die Bemühungen der Forscher von jeher dahin gegangen sind, die verwickelte, direkt gegebene Erscheinung durch das Experiment in eine sehr grosse Zahl elementarer Erscheinungen aufzulösen.

Und zwar auf drei verschiedene Arten: zuerst nach der Zeit. Statt die allmähliche Ent-

wicklung einer Erscheinung in ihrer Gesamtheit ins Auge zu fassen, sucht man einfach jeden Augenblick dem unmittelbar vorhergehenden anzureihen; man setzt voraus, dass der gegenwärtige Zustand der Welt nur von dem unmittelbar vorhergehenden abhängt, ohne sozusagen von der Erinnerung an eine fernere Vergangenheit direkt beeinflusst zu sein. Dank diesem Satze kann man sich, statt direkt die gesamte Folge der Erscheinungen zu untersuchen, darauf beschränken, ihre „Differentialgleichung“ hinzuschreiben; an Stelle der Keplerschen Gesetze setzt man dasjenige Newtons.

Des weiteren sucht man die Erscheinung im Raume auseinander zu legen. Was das Experiment uns giebt, ist ein wirrer Haufen von Thatsachen, die sich auf einem Schauplatze von

einer gewissen Ausdehnung abspielen; man muss demgegenüber versuchen, die elementare Erscheinung herauszufinden, die auf einer sehr kleinen Stelle des Raumes ihren Sitz hat.

Einige Beispiele werden vielleicht diese Gedanken besser begreiflich machen. Wenn man die Verteilung der Temperatur in einer sich abkühlenden Flüssigkeit ihrer ganzen Kompliziertheit nach untersuchen wollte, so würde man niemals zu einem Ziele gelangen. Alles wird einfach, wenn man bedenkt, dass ein Punkt der Flüssigkeit an einen entfernten direkt keine Wärme abgeben kann; er wird Wärme unmittelbar nur den benachbarten Punkten abgeben können und darum kann der Wärmefluss andere Teile der Flüssigkeit nur nach und nach erreichen. Die elementare Erscheinung ist der Wärmeaustausch zwischen zwei benachbarten Punkten; sie ist streng an den Ort gebunden und relativ einfach, wenn man bedenkt, dass sie natürlicherweise nicht durch die Temperatur von Molekülen beeinflusst wird, deren Entfernung einen endlichen Wert hat.

Ich biege einen Stab; er wird eine sehr komplizierte Form annehmen, deren direkte Untersuchung unmöglich wäre. Ich kann sie indessen finden, wenn ich beachte, dass seine Biegung nur die Resultante der Deformationen der Elemente des Stabes ist, und dass die Deformation jedes Elementes nur von Kräften abhängt, die direkt an demselben angreifen, keineswegs aber von solchen, die auf die andern Elemente wirken.

In allen diesen Beispielen, die ich mit Leichtigkeit vervielfachen könnte, setzt man voraus, dass es keine Wirkung in die Ferne oder wenigstens keine in grosse Entfernung giebt. Das ist eine Hypothese; sie ist nicht immer wahr, wie das Gesetz der Schwerkraft beweist; man muss sie also der Bestätigung unterwerfen; ist sie auch nur angenähert bestätigt, so ist sie wertvoll, denn sie erlaubt uns, mathematische Physik zu treiben, zum mindesten durch allmähliche Annäherungen.

Wenn sie der Prüfung nicht Stand hält, muss man etwas anderes Analoges suchen; denn es giebt noch andere Mittel zur elementaren Erscheinung zu kommen. Wenn mehrere Körper gleichzeitig wirken, so kommt es vor, dass ihre Wirkungen unabhängig voneinander sind und sich einfach zueinander addieren, sei es nach der Art der Vektoren, sei es nach Art der skalaren Grössen. Die elementare Erscheinung ist dann die Wirkung eines isolierten Körpers. Oder auch man hat es mit kleinen Bewegungen zu thun, allgemeiner gesprochen mit kleinen Variationen, welche dem wohlbekannten Gesetze der Superposition gehorchen. Die beobachtete Bewegung wird dann in einfache Bewegungen aufgelöst, z. B. der Klang in seine

Obertöne, das Licht in seine einfarbigen Bestandteile.

Hat man entschieden, von welcher Seite man zweckmässig die elementare Erscheinung suchen muss, durch welche Hilfsmittel kann man sie dann erreichen?

Da wird es oft vorkommen, dass es, um sie herauszufinden oder vielmehr dasjenige von ihr herauszufinden, was uns nützlich ist, garnicht einmal nötig ist, ihren Mechanismus zu durchschauen; das Gesetz der grossen Zahlen reicht vielmehr aus. Nehmen wir wieder das Beispiel der Wärmeausbreitung; jedes Molekül stösst gegen jedes benachbarte an; nach welchem Gesetze, brauchen wir nicht zu wissen; wollten wir irgend etwas in dieser Hinsicht annehmen, so wäre das eine indifferente Hypothese, und folglich eine unnütze, der Bestätigung unzugängliche. Thatsächlich gleichen sich durch das Spiel der Mittelwerte und dank der Symmetrie des Mediums alle Verschiedenheiten aus, und das Resultat ist immer dasselbe, welche Hypothese wir auch gemacht haben.

Derselbe Umstand tritt in der Theorie der Elastizität und in derjenigen der Kapillarität zu Tage. Die benachbarten Moleküle ziehen einander an und stossen sich gegenseitig ab; wir brauchen nicht zu wissen, nach welchem Gesetze; es genügt für uns, dass diese Anziehung erst in kleiner Entfernung merklich wird, dass diese Moleküle sehr zahlreich sind, und dass das Mittel symmetrisch ist; wir brauchen im übrigen nur das Gesetz der grossen Zahlen wirken zu lassen.

Hier verbarg sich also die Einfachheit der elementaren Erscheinung hinter der Kompliziertheit der beobachteten, resultierenden; aber diese Einfachheit ihrerseits war nur eine scheinbare und verhüllte einen sehr verwickelten Mechanismus.

Das beste Mittel, zur elementaren Erscheinung zu kommen, wäre ersichtlich das Experiment. Man müsste durch experimentelle Kunstgriffe das verwickelte Bündel auflösen, welches die Natur unsern Untersuchungen darbietet und mit Sorgfalt die möglichst gereinigten Bestandteile desselben untersuchen; man würde z. B. das weisse natürliche Licht mit Hilfe des Prismas in einfarbige Lichtarten, mit Hilfe des Polarisators in polarisierte Bestandteile auseinanderlegen.

Unglücklicherweise ist das niemals möglich, niemals ausreichend; und der Geist muss zuweilen dem Experimente vorausseilen. Ich will nur ein Beispiel anführen, welches mir immer besonders aufgefallen ist:

Wenn ich das weisse Licht auseinanderlege, so kann ich einen kleinen Teil des Spektrums isolieren, aber er bewahrt eine gewisse Breite, so klein er auch sei. Ebenso geben uns die sogenannten natürlichen einfarbigen Lichtquellen zwar einen sehr feinen, aber immerhin

keinen unendlich feinen Strahl. Man könnte nun glauben, wenn man experimentell die Eigenschaften dieser natürlichen Lichtarten studiere und mit immer feineren Strahlen arbeite und schliesslich sozusagen zu einer Grenze übergehe, werde man die Eigenschaften eines streng einfarbigen Lichtes kennen lernen.

Das wäre nicht genau. Ich nehme an, zwei Strahlen gingen von derselben Lichtquelle aus, man polarisierte sie in zwei rechtwinklig aufeinander stehenden Spiegeln, führe sie dann auf dieselbe Polarisationssebene zurück und versuche, sie zur Interferenz zu bringen. Wenn das Licht streng einfarbig wäre, so würden sie interferieren; aber mit unsern nicht entfernt einfarbigen Lichtarten erhalten wir keine Interferenz. So fein auch der Strahl ist, er müsste, damit es anders wäre, noch mehrere Millionenmal feiner sein, als die feinsten Strahlen, die wir kennen.

Hier würde uns also der Grenzübergang im Stiche gelassen haben; der Geist musste dem Experiment vorausseilen; und wenn er es mit Erfolg that, so geschah es, weil er sich von dem Instinkte der Einfachheit leiten liess.

Die Kenntnis der Elementarthatssache befähigt uns, das Problem in eine Gleichung zu bringen; es bleibt nur noch übrig, daraus durch Kombination die verwickelte Thatssache abzuleiten, die der Beobachtung und Bestätigung zugänglich ist. Das ist das, was man Integration nennt, und sie ist die Aufgabe des Mathematikers.

Man kann sich fragen, warum sich in den physikalischen Wissenschaften die Verallgemeinerung so gerne der mathematischen Form bedient. Der Grund ist jetzt leicht zu erkennen; es geschieht nicht nur, weil man zahlenmässige Gesetze auszudrücken hat; es geschieht auch, weil die beobachtete Erscheinung durch die Übereinanderlagerung einer grossen Zahl von Elementarerscheinungen zu Stande kommt, die sich untereinander durchaus gleichen; so wird man ganz natürlicherweise auf die Differentialgleichungen geführt.

Es genügt nicht, dass jede elementare Erscheinung einfachen Gesetzen gehorcht, es ist auch nötig, dass alle diejenigen, die man zu kombinieren hat, demselben Gesetze gehorchen. Nur dann kann das Eingreifen der Mathematik nützlich sein. Die Mathematik lehrt uns ja doch, gleiches mit gleichem zu kombinieren. Ihr Ziel ist, das Resultat einer Kombination vorauszusagen, ohne diese Kombination Stück für Stück immer wieder vornehmen zu müssen. Wenn man mehrere Male ein und dieselbe Operation zu wiederholen hat, so gestattet sie uns diese Wiederholung zu vermeiden, indem sie uns durch eine Art von Induktion das Resultat zum voraus erkennen lässt.

Aber dazu müssen alle Operationen unter sich gleich sein; im entgegengesetzten Falle müsste man sie wohl oder übel thatsächlich eine nach der andern vornehmen, und die Mathematik wäre überflüssig.

Der angenäherten Gleichartigkeit der von dem Physiker untersuchten Materie ist es demnach zu danken, dass die mathematische Physik entstehen konnte.

In der Naturgeschichte findet man diese Bedingungen schon nicht mehr: Gleichartigkeit, relative Unabhängigkeit entfernter Teile, Einfachheit elementarer Thatssachen; deshalb sind die Vertreter dieser Wissenschaften gezwungen, zu anderen Arten der Verallgemeinerung ihre Zuflucht zu nehmen.

Charakterisierung der physikalischen Theorien.

Der Laie ist erstaunt, wenn er sieht, wie viele wissenschaftliche Theorien überlebt sind. Nach einigen Jahren des Gedeihens sieht er sie aufgegeben; er sieht Trümmer sich über Trümmer häufen; er sieht voraus, dass die heute modernen Theorien ihrerseits über kurzem zusammenstürzen werden und schliesst daraus, dass sie durchaus nichtig seien. Er nennt das den Bankerott der Wissenschaft.

Sein Zweifel ist überflüssig; er hat sich niemals von dem Zweck und den Zielen der Wissenschaft Rechenschaft gegeben, sonst würde er lernen, dass auch noch Ruinen zu etwas gut sein können.

Keine Theorie schien fester begründet als die Fresnels, welcher das Licht Ätherbewegungen zuschrieb. Und doch zieht man ihr heute diejenige Maxwells vor. Will das etwa sagen, dass das Werk Fresnels vergeblich gewesen ist? Nein, denn das Ziel Fresnels war nicht, zu wissen, ob es wirklich einen Äther giebt, ob er aus Atomen besteht oder nicht, ob sich diese Atome wirklich in diesem oder jenem Sinne bewegen oder nicht; sein Ziel war vielmehr, optische Erscheinungen vorauszusehen.

Und das gestattet die Fresnelsche Theorie noch immer, heute so gut wie vor Maxwell. Ihre Differentialgleichungen sind immer wahr; man kann sie immer in derselben Weise integrieren und die Ergebnisse dieser Integration behaupten alle Zeit ihren vollen Wert.

Man sage nun nicht, dass wir so die physikalischen Theorien in die Rolle einfacher praktischer Rezepte herunterdrücken; jene Gleichungen drücken Beziehungen aus, und wenn die Gleichungen wahr bleiben, so heisst das, dass diese Beziehungen ihre Gültigkeit behalten. Sie lehren uns nach wie vor, dass eine Beziehung zwischen irgend einer Sache und einer anderen besteht. Nur, dass wir das, was wir einst Bewegung nannten, heute elektrischen Strom nennen. Aber diese Benennungen waren

nie mehr als Bilder, welche man den wahren Dingen untergeschoben hat, wie uns die Natur für ewige Zeiten verhüllen wird. Die thatsächlichen Beziehungen zwischen diesen wahren Dingen sind die einzige Wirklichkeit, die uns zugänglich ist, und die einzige Bedingung dafür ist, dass dieselben Beziehungen zwischen diesen Dingen bestehen, wie zwischen den Bildern, die wir notwendigerweise an ihre Stelle setzen müssen. Wenn uns diese Verhältnisse klar sind, was liegt daran, ob wir es für bequemer erachten, ein Bild durch ein anderes zu ersetzen.

Dass irgend eine periodische Erscheinung (eine elektrische Schwingung z. B.) thatsächlich durch die Schwingung einer Art von Atome zu stande komme, die sich wie Pendel in diesem oder jenem Sinne aus ihrer Gleichgewichtslage entfernen, dass ist weder gewiss noch interessant. Aber dass zwischen der elektrischen Schwingung, der Pendelbewegung und allen periodischen Erscheinungen eine innere Verwandtschaft besteht, welche einer verborgenen Wirklichkeit entspricht, dass diese Verwandtschaft, diese Ähnlichkeit, oder besser dieser Parallelismus sich bis in die Einzelheiten verfolgen lässt, dass sie eine Folgerung allgemeiner Prinzipien ist, nämlich des Prinzips der Energie und desjenigen der kleinsten Wirkung, das können wir bestätigen; das ist die Wahrheit, die alle Zeit dieselbe bleiben wird, unter jedem Gewande, mit dem wir sie herauszuputzen für gut finden.

Man hat zahlreiche Dispersionstheorien vorgeschlagen. Die ersten waren unvollkommen und enthielten nur einen kleinen Teil von Wahrheit. Darauf ist diejenige von Helmholtz gekommen. Dann hat man diese in verschiedener Weise modifiziert, und ihr Schöpfer selbst hat eine neue, auf den Maxwell'schen Prinzipien begründete erdacht. Aber, eine bemerkenswerte Thatsache: alle Forscher, die nach Helmholtz gekommen sind, sind zu denselben Gleichungen gelangt, obwohl sie von scheinbar weit auseinanderliegenden Punkten ausgegangen sind. Ich wage zu sagen, dass diese Theorien alle miteinander wahr sind, nicht nur, weil sie uns dieselben Erscheinungen voraussehen lassen, sondern auch, weil sie uns eine wahre Beziehung enthüllen, nämlich diejenige zwischen der Absorption und der anomalen Dispersion. In den Voraussetzungen dieser Theorien ist das, was wahr ist, eben das, was allen Autoren gemeinsam ist; nämlich die Behauptung dieser oder jener Beziehung zwischen gewissen Dingen, welche die Einen mit diesem, die Anderen mit jenem Namen bezeichnen.

Die kinetische Theorie der Gase hat zu sehr vielen Einwänden Anlass gegeben, auf die schwer etwas zu entgegnen wäre, wenn man in ihr die absolute Wahrheit zu erblicken vorgäbe.

Aber alle diese Einwände können nichts daran ändern, dass sie nützlich gewesen ist, und dass sie es besonders dadurch gewesen ist, dass sie uns eine wahre und ohne sie tiefverborgene Beziehung enthüllt hat, nämlich diejenige zwischen dem Gasdruck und dem osmotischen Druck. In diesem Sinne kann man doch sagen, dass sie wahr ist.

Wenn ein Physiker einen Widerspruch findet zwischen zwei Theorien, die ihm in gleicher Weise lieb sind, so sagt er zuweilen, wir wollen uns nicht darüber beunruhigen, sondern wollen die beiden Enden der Kette festhalten, obgleich uns die zwischenliegenden Glieder verborgen sind. Dieses Argument nach Art eines in die Enge getriebenen Theologen wäre lächerlich, wenn man den physikalischen Theorien den Sinn unterlegen wollte, den ihnen der Laie giebt. Im Falle des Widerspruchs müsste wenigstens eine von ihnen für falsch erklärt werden. Das ist anders, wenn man in ihnen nur das sucht, was man in ihnen suchen muss. Es kann vorkommen, dass sie beide wahre Beziehungen ausdrücken und dass der Widerspruch nur in den Bildern besteht, mit denen wir die Wirklichkeit umkleidet haben.

Denjenigen, die der Meinung sind, dass wir das den Forschern zugängliche Gebiet zu eng abstecken, möchte ich erwidern: die Fragen, die wir Euch verbieten, und die Ihr mit Bedauern preisgeben müsst, sind nicht nur unlösbar, sondern sie sind sogar illusorisch und ohne Sinn und Verstand.

Ein solcher Philosoph behauptet z. B., dass die ganze Physik durch gegenseitige Stösse der Atome zu erklären sei. Wenn er damit nur sagen will, dass zwischen den physikalischen Erscheinungen dieselben Beziehungen bestehen, wie zwischen den wechselseitigen Stössen einer grossen Zahl von Billardbällen, wohlan, so ist das der Bestätigung zugänglich und kann wahr sein. Aber er will weit mehr sagen; und wir glauben ihn zu begreifen, weil wir zu wissen glauben, was der Stoss an sich ist; warum? ganz einfach, weil wir sehr oft dem Billardspiel zugesehen haben. Meinen wir nun, dass Gott, wenn er sein Werk betrachtet, dieselben Empfindungen haben wird wie wir, wenn wir einem Billardwettkampf zusehen? Wenn wir jenen Versicherungen nicht diesen bizarren Sinn geben und ihnen noch weniger den beschränkten Sinn unterlegen wollen, den ich eben auseinandergesetzt habe und der der richtige ist, so haben sie überhaupt keinen mehr.

Die Hypothesen dieser Art haben also nur einen bildlichen Sinn. Der Forscher braucht sie sich nicht zu untersagen, ebensowenig wie sich der Dichter die Bilder versagt; aber er muss wissen, welchen Wert sie haben. Sie können nützlich sein, um dem Geiste eine Ge-

nugthuung zu geben, und sie werden nicht schädlich wirken, vorausgesetzt, dass sie nur indifferente Hypothesen sind.

Diese Erwägungen zeigen uns auch, warum gewisse Theorien, die man endgültig verlassen und vom Experimente widerlegt glaubte, plötzlich wieder aus ihrer Asche auferstehen und ein neues Leben beginnen. Darum, weil sie wahre Beziehungen ausdrückten; und weil sie nicht aufgehört hatten, das zu thun, als man aus dem einen oder anderen Grunde dieselben Beziehungen in einer anderen Sprache ausdrücken zu müssen glaubte. Sie hatten so eine Art latenten Lebens bewahrt.

Noch vor kaum 15 Jahren gab es keinen lächerlicheren, mehr überwundenen Standpunkt, als die Fluida Coulombs; und siehe da, sie erscheinen heute unter dem Namen Elektron wieder. Wodurch unterscheiden sich diese elektrisierten Moleküle von bleibender Form von den elektrischen Molekülen Coulombs? Freilich bei den Elektrons wird die Elektrizität von etwas Materie getragen; aber von wie wenig; mit anderen Worten, sie haben eine Masse; auch Coulomb verweigerte seinen Flüssigkeiten die Masse nicht oder, wenn er es that, nur mit Vorbehalt. Es wäre kühn, zu behaupten, dass der Glaube an die Elektrons nicht einst wieder erschüttert würde. Das würde nicht weniger seltsam sein, wie diese unerwartete Wiedergeburt zu konstatieren.

Das überraschendste Beispiel ist hier das Prinzip von Carnot. Carnot hat es aufgestellt, indem er von falschen Hypothesen ausging; als man bemerkte, dass die Wärme nicht unzerstörbar ist, sondern in Arbeit überführt werden kann, verliess man seine Ideen vollständig; bis dann Clausius darauf zurückkam und ihnen endgültig zum Siege verhalf. Die Theorie von Carnot brachte in ihrer ursprünglichen Form neben wirklichen, andere ungenaue Beziehungen zum Ausdruck, Überreste veralteter Ideen; aber die Anwesenheit dieser letzteren berührte nicht die Wirklichkeit der ersteren. Clausius brauchte sie nur auszumerzen, wie man tote Zweige ausschneidet.

Das Ergebnis war der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. Es waren immer dieselben Beziehungen; obwohl diese Beziehungen nicht mehr, wenigstens nicht mehr offenkundig, zwischen denselben Dingen statt hatten. Aber sie waren genügend um dem Prinzip seine Geltung zu sichern. Ja, selbst die Überlegungen Carnots

sind hierfür nicht verloren; sie wurden auf einer mit Irrtum behafteten Grundlage aufgebaut; aber ihre Form (d. h. ihr Wesen) blieb richtig.

Was ich eben gesagt habe, beleuchtet gleichzeitig die Rolle der allgemeinen Prinzipien, wie das Prinzip der kleinsten Wirkung und dasjenige von der Erhaltung der Energie eines ist.

Diese Prinzipien haben einen sehr hohen Wert, man hat sie gefunden, indem man in dem Ausdruck der zahlreichen physikalischen Gesetze das suchte, was ihnen allen gemeinsam war; sie stellen also gleichsam die Quintessenz unzähliger Beobachtungen dar.

Immerhin folgt aus ihrer Allgemeinheit selbst, worauf ich in dem Vorwort meiner Vorlesungen über Thermodynamik hingewiesen habe, dass sie nicht mehr der Bestätigungen unterworfen werden können. Da wir von der Energie keine allgemeine Definition geben können, so besagt das Prinzip von der Erhaltung der Energie einfach, dass es irgend etwas giebt, was konstant bleibt. Nun wohl, welche neuen Kenntnisse von der Welt auch immer die Experimente der Zukunft uns bringen werden, wir sind zum voraus gewiss, dass irgend etwas dabei konstant bleiben wird, was wir Energie nennen können.

Muss man deshalb sagen, dass das Prinzip keinen Sinn hat oder sich in eine Tautologie auflöst? Keineswegs, es hebt hervor, dass die verschiedenen Dinge, denen wir den Namen Energie geben, durch eine wirkliche Verwandtschaft verknüpft sind. Es stellt zwischen ihnen eine thatsächliche Beziehung her.

Wenn nun auch das Prinzip einen Sinn hat, so kann es doch falsch sein; es kann sein, dass man nicht das Recht hat, seine Anwendungen ins Unendliche auszudehnen; und wenn man im voraus sicher ist, dass es im wahren Sinne des Wortes bestätigt werden wird, wie können wir dann erfahren, wenn es die ganze Ausdehnung erreicht hat, die man ihm rechtmässig geben kann? Ganz einfach dann, wenn es aufhört, uns nützlich zu sein, d. h. uns neue Erscheinungen voraus sehen zu lassen, ohne uns zu täuschen. Wir werden in einem solchen Falle sicher sein, dass die behauptete Beziehung nicht mehr wirklich ist. Denn sonst wäre sie fruchtbar; das Experiment würde, ohne gerade einer weiteren Ausdehnung des Prinzipes zu widersprechen, es trotzdem umgestossen haben. (Schluss folgt.)

zur Gleichung hat, nennen wir die Energiekurve der Quelle für den Zeitpunkt t_0 .

Diese Energiekurve ist das einzig Maassgebende für den Einfluss der in Q stattfindenden Erregung auf die in P zur Zeit t_P zur Beobachtung gelangende Erscheinung.

Um diese Erscheinung jetzt mittels der Gleichung 10), bzw. 10') ganz vorhersagen zu können, müssen wir auch noch $\mathcal{Q}_n$ und γ_n in ihrer Abhängigkeit von n kennen. Davon lässt sich $\mathcal{Q}_n$ nach den gewöhnlichen Theorien der Optik für die Fortpflanzung einfacher Sinusschwingungen im Äther herleiten.

Der soeben hervorgehobenen Beschränkung in Bezug auf den Einfluss des Erregungsvorgangs in der Quelle steht die folgende zur Seite.

Es ist uns, abgesehen sogar von der teilweisen Unbestimmtheit des Empfindlichkeitskoeffizienten γ_n , auch bei sorgfältigster Beobachtung der Strahlungsverteilung im Felde nicht möglich, aus

derselben die genaue Form der Erregung in der Quelle, d. h. die einzelnen Koeffizienten der Fourierschen Reihe, zu ermitteln; wir können höchstens auf Grund derselben eine Energiekurve konstruieren, welche die Mittelwerte aus je einer sehr grossen Anzahl von aufeinanderfolgenden Amplitudenquadraten der Glieder der Fourierschen Reihe darstellt. Die Anzahl der Amplitudenquadrate, welche in jedem Mittelwerte mitspielen, wird zwar kleiner sein, je grösser das Auflösungsvermögen des benutzten Apparates ist, bleibt aber immerhin sehr gross wegen der prinzipiellen Beschränkung, welcher dieses Vermögen notwendig unterliegt, falls die Fouriersche Entwicklung überhaupt anwendbar bleiben soll.

Die Anwendung des hier zusammengefassten Resultates unserer Betrachtungen auf das Problem der Beugung der Röntgenstrahlen wird alsbald in dieser Zeitschrift mitgeteilt werden.

Groningen, November 1900.

(Eingegangen 29. November 1900.)

VORTRÄGE UND REDEN.

Über die Beziehungen zwischen der experimentellen und der mathematischen Physik.

Von H. Poincaré.

(Schluss.)

Die Physik und der Mechanismus.

Die Mehrzahl der Theoretiker hat eine konstante Vorliebe für die Entwicklungen, die der Dynamik oder der Mechanik entlehnt sind. Die Einen wären zufrieden, wenn sie sich von allen Erscheinungen durch Bewegungen von Molekülen Rechenschaft geben könnten, die einander nach bestimmten Gesetzen anziehen. Die Andern sind anspruchsvoller; sie möchten gerne die Fernwirkungen wegschaffen; ihre Moleküle verfolgen geradlinige Bahnen, von denen sie nur durch Stösse abgelenkt werden können. Noch Andere, wie Hertz, unterdrücken auch die Kräfte, aber sie nehmen an, dass ihre Moleküle geometrischen Verbindungen unterworfen sind, analog beispielsweise denjenigen unserer Gliedmassen; sie wollen so die Dynamik auf eine Art von Kinematik zurückführen.

Kurz, alle wollen die Natur in eine gewisse Form zwängen, ausserhalb deren ihr Geist keine Befriedigung finden kann. Ist nun die Natur hierzu willig genug?

Ich habe mir diese Frage schon in dem Vorworte meines Werkes „Elektrizität und Optik“ vorgelegt. In allen Fällen, wo die Prinzipien der Energie und der kleinsten Wirkung ausreichen, giebt es, wie ich gezeigt habe, nicht

nur stets eine mögliche mechanische Deutung, sondern es giebt ihrer immer eine unbegrenzte Anzahl. Mit Hilfe eines wohlbekannten Satzes von Herrn Königs über die Gliedmassen könnte man z. B. zeigen, dass man alles auf unendlich viele Arten durch Verbindungen im Sinne von Hertz oder auch durch zentrale Kräfte darstellen könnte. Man würde zweifellos ebenso leicht zeigen können, dass sich stets alles durch einfache Stösse erklären lässt.

Hierzu darf man sich, wohl verstanden, nicht mit der gewöhnlichen Materie zufrieden geben, derjenigen, welche uns ins Auge fällt und deren Bewegungen wir direkt beobachten. Man wird vielmehr annehmen, dass diese gewöhnliche Materie aus Atomen zusammengesetzt ist, deren innerliche Bewegungen uns entgehen, während nur die Ortsveränderungen des Ganzen unseren Sinnen zugänglich bleibt. Oder man wird sich einige jener feinen Fluida vorstellen, welche unter dem Namen Äther oder irgend einem anderen jederzeit eine so grosse Rolle in den physikalischen Theorien gespielt haben.

Oft geht man noch weiter und betrachtet den Äther als die einzige Urmaterie oder überhaupt als die wirkliche Materie. Die Gemässigten betrachten die gewöhnliche Materie als verdichteten Äther, was nichts Auffälliges hat, aber Andere nehmen ihr auch diese Bedeutung und sehen in ihr nur noch geometrische Orte von ausgezeichneten Punkten des Äthers. Nach Lord Kelvin beispielsweise ist das, was wir

Materie nennen, nur der Ort der Punkte, in denen der Äther in Wirbelbewegung begriffen ist; nach Riemann ist es der Ort der Punkte, in denen der Äther dauernd zerstört wird; nach andern, neueren Autoren, Wiechert und Larmor ist sie der Ort der Punkte, wo der Äther einer ganz besonderen Art von Torsion unterworfen ist. Wenn man sich auf einen dieser Standpunkte stellen will, so frage ich mich, mit welchem Rechte man auf den Äther, unter dem Vorwande, dass er die wahre Materie ist, die mechanischen Eigenschaften übertragen will, die man an der gewöhnlichen Materie beobachtet hat, die doch nur die falsche Materie ist.

Die alten Fluida Wärme, Elektrizität etc. wurden verworfen, als man bemerkte, dass die Wärme nicht unzerstörbar ist. Aber sie wurden es auch aus einem andern Grunde. Indem man sie verstofflichte, betonte man, wenn ich so sagen soll, ihre Individualität, man grub zwischen ihnen eine Art von Abgrund. Man musste denselben ausfüllen, so bald' man eine lebhaftere Empfindung von der Einheitlichkeit der Natur bekam, und so bald man die engen Beziehungen bemerkte, welche alle ihre Teile verknüpfen. Indem die alten Physiker die Fluida häuften, schufen sie nicht nur ohne Notwendigkeit neue Wesenheiten, sondern sie zerschnitten auch wirkliche Verbindungen.

Es genügt nicht, dass eine Theorie keine falschen Beziehungen behauptet, sie darf auch keine verheimlichen.

Und unser Äther, hat er in der That Wesenheit?

Es ist bekannt, woher wir zu dem Glauben an den Äther kommen. Während das Licht von einem fernen Sterne mehrere Jahre braucht, um zu uns zu gelangen, ist es nicht mehr auf dem Sterne und auch nicht auf der Erde; es muss sich aber doch irgendwo befinden und sozusagen in einem materiellen Behälter aufbewahrt werden.

Man kann denselben Gedanken unter einer mehr mathematischen, mehr abstrakten Form ausdrücken. Was wir konstatieren, sind Änderungen, die durch die materiellen Moleküle hervorgerufen werden; wir sehen z. B. dass die photographische Platte infolge von Erscheinungen beeinflusst wird, deren Schauplatz die Leuchtmasse eines Sternes mehrere Jahre zuvor gewesen ist. In der gewöhnlichen Mechanik aber hängt der Zustand des untersuchten Systems nur von seinem unmittelbar vorangegangenen Zustande ab; das System genügt also Differentialgleichungen. Wenn wir nun nicht an den Äther glaubten, so würde der Zustand des materiellen Weltalls nicht nur von dem unmittelbar vorhergehenden, sondern auch von längst vergangenen Zuständen abhängen, das System würde Gleichungen mit endlichen Differenzen

genügen. Um diesen Abweichungen von den allgemeinen Gesetzen der Mechanik zu entgehen, haben wir den Äther erfunden.

Das würde uns erst verpflichten, den interplanetaren Raum mit dem Äther auszufüllen, aber nicht, denselben auch in das Innere der materiellen Medien selbst dringen zu lassen. Das Experiment Fizeau's geht weiter. Durch die Interferenz von Strahlen, die bewegte Luft oder bewegtes Wasser durchsetzt haben, scheint es uns zwei verschiedene Medien zu zeigen, die einander durchdringen und die sich trotzdem relativ zu einander bewegen. Man glaubt den Äther geradezu mit dem Finger zu fühlen.

Man könnte indessen Experimente ersinnen, die ihn uns noch deutlicher fühlen lassen würden. Nehmen wir an, dass das Newtonsche Prinzip der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung nicht mehr wahr sei, wenn man es auf die Materie allein anwendet, und dass man sich daran mache, das nachzuweisen. Die geometrische Summe aller an allen Molekülen angreifenden Kräfte würde nicht mehr Null sein. Man müsste dann, wenn man nicht die ganze Mechanik ändern wollte, den Äther einführen, damit der Wirkung, welche die Materie auszuhalten schiene, durch die Gegenwirkung der Materie auf irgend etwas das Gleichgewicht gehalten würde.

Oder auch, ich nehme an, man wisse, dass die optischen und elektrischen Erscheinungen durch die Bewegung der Erde beeinflusst werden. Man würde zu dem Schlusse geführt, dass diese Erscheinungen nicht nur die relativen Bewegungen der materiellen Körper offenbaren, sondern auch etwas, wie ihre absoluten Bewegungen. Es müsste dann irgend einen Äther geben, damit diese sogenannten absoluten Bewegungen nicht ihre Ortveränderungen in Bezug auf den leeren Raum, sondern in Bezug auf irgend etwas Konkretes wären.

Wird man jemals dahin gelangen?

Ich trage mich nicht mit dieser Hoffnung und werde gleich sagen warum; trotzdem ist sie durchaus nicht so absurd, denn Andere haben sie gehegt.

Wenn beispielsweise die Theorie von Lorentz wahr wäre, so würde sich das Newtonsche Prinzip nicht auf die Materie allein beziehen lassen, und die Abweichung wäre nahezu von der Grössenordnung, dass sie dem Experimente zugänglich wäre.

Von anderer Seite hat man viele Untersuchungen über den Einfluss der Erdbewegungen gemacht. Die Ergebnisse waren immer negative. Aber wenn man diese Experimente unternahm, so geschah es, weil man ihrer von vorneherein nicht sicher war; selbst nach den herrschenden Theorien wäre der Ausgleich nur ein an-

genäherter und man kann erwarten, genauere Methoden positive Resultate geben zu sehen.

Ich glaube allerdings, dass eine solche Erwartung vergeblich ist; aber es wäre nichts verlockender, als zu zeigen, dass ein Erfolg dieser Art uns eine ganz neue Welt eröffnen würde.

Man muss mir hier eine Abschweifung gestatten. Ich muss auseinandersetzen, warum ich, trotz Lorentz, nicht glaube, dass genauere Beobachtungen jemals etwas Anderes als relative Ortsveränderungen der materiellen Körper offenbaren könnten. Man hat Versuche gemacht, welche über die Glieder erster Ordnung hätten entscheiden lassen müssen; die Ergebnisse waren negative; konnte das ein Zufall sein? Niemand hat einen solchen angenommen; man hat eine allgemeine Erklärung gesucht und Lorentz hat sie gefunden; er hat gezeigt, dass die Glieder erster Ordnung sich wegheben mussten, aber das war nicht der Fall mit denjenigen der zweiten. Dann hat man genauere Versuche gemacht; sie waren ebenfalls negativ; das konnte noch weniger ein Spiel des Zufalls sein; eine Erklärung fehlte; aber man fand wieder eine; man findet immer eine; Hypothesen sind ein Kapital, welches vom Allerwenigsten ausgeht.

Aber damit noch nicht genug; wer weiss nicht, dass man auch hier dem Zufall noch eine grosse Rolle überlassen muss? Würde nicht auch dieses merkwürdige Zusammentreffen ein Zufall sein, welcher bewirkt, dass ein gewisser Umstand gerade rechtzeitig eintritt, um die Glieder erster Ordnung aufzuheben, und dass ein anderer, vollständig verschiedener, aber ebenso gelegener Umstand es übernimmt, diejenigen der zweiten Ordnung wegzuschaffen? Nein, man muss für beide dieselbe Erklärung suchen, und da drängt uns alles zu der Annahme, dass diese Erklärung ebenso für die Ausdrücke höherer Ordnung gilt, und dass die gegenseitige Aufhebung dieser Glieder streng und vollständig ist.

Gegenwärtiger Stand der Wissenschaft.

In der Geschichte der Physik lassen sich zweierlei entgegengesetzte Entwicklungstendenzen unterscheiden. Auf der einen Seite entdeckt man jeder Zeit neue Beziehungen zwischen den Gegenständen, welche alle Zeit getrennt bleiben zu müssen schienen; die getrennten Thatssachen hören auf, einander fremd zu sein; sie streben danach, sich zu einem mächtigen Ganzen zusammen zu ordnen. Die Wissenschaft schreitet zur Einheit und Einfachheit fort.

Auf der andern Seite enthüllt uns die Beobachtung tagtäglich neue Erscheinungen; sie müssen lange warten bis ihnen ihr Platz angewiesen wird, und zuweilen muss man, um das zu thun, eine Ecke des Gebäudes wieder zusammenreissen. Selbst bei den bekannten Erscheinungen, wo uns unsere groben Sinne Einheitlichkeit

zeigten, bemerken wir von Tag zu Tag mannigfaltigere Einzelheiten; was wir für einfach hielten wird wieder verwickelt, und die Wissenschaft scheint zur Mannigfaltigkeit und Kompliziertheit zurückzustreben.

Welcher von diesen beiden entgegengesetzten Neigungen, die abwechselnd triumphieren wird schliesslich der Sieg zufallen? Wenn die erstere ist, so ist die Wissenschaft möglich, aber nichts beweist das a priori, und man kann fürchten, nach vergeblichen Anstrengungen, die Natur, ihr zum Trotze, unter unser Ideal der Einheit zu zwingen, überflutet von den Strom neuer auf uns einströmender Schätze, darauf zurückkommen zu müssen, sie zu klassifizieren, unser Ideal zu verlassen und die Wissenschaft auf eine Registrierung unzähliger Rezepte zu beschränken.

Auf diese Frage können wir nicht antworten. Alles was wir thun können ist, die Wissenschaft von heute zu betrachten und sie mit derjenigen von gestern zu vergleichen. Aus einer solchen Prüfung würden wir zweifellos einige Vermutungen für die Zukunft gewinnen.

Es ist ein halbes Jahrhundert her, da hatte man die grössten Hoffnungen gefasst. Die Entdeckung der Erhaltung der Energie und ihrer Wandlungen hatte gerade die Einheitlichkeit der Kraft offenbart. Sie zeigte z. B., dass die Erscheinungen der Wellen durch molekulare Bewegungen erklärt werden konnten. Welches die Natur dieser Bewegungen sei, wusste niemand so recht, aber man zweifelte nicht, dass man es bald wissen würde. Für das Licht schien die Aufgabe vollständig gelöst. Was die Elektrizität anbetrifft, so war man da noch weniger weit. Die Elektrizität hatte sich gerade den Magnetismus angegliedert. Das war ein grosser und endgültiger Schritt nach der Einheit hin, aber wie würde sich die Elektrizität ihrerseits in die Einheit fügen, wie würde sie sich auf den weltumfassenden Mechanismus zurückführen lassen? Davon hatte man keinen Begriff. Die Möglichkeit dieser Zurückführung wurde indessen von niemand in Zweifel gezogen, man hatte den festen Glauben daran. Was schliesslich die molekularen Eigenschaften der Körper betrifft, so schien hier die Zurückführung noch viel leichter; aber jede Einzelheit blieb in einen Nebel gehüllt. Mit einem Wort, die Hoffnungen waren unermesslich und unerschütterlich, aber sie waren vergeblich.

Und was sehen wir heute?

Zunächst einen Fortschritt; einen gewaltigen Fortschritt. Die Beziehungen zwischen Elektrizität und Licht sind jetzt bekannt; die einst getrennten drei Gebiete, Licht, Elektrizität und Magnetismus bilden nunmehr ein einziges; und diese Verschmelzung scheint eine endgültige zu sein.

Diese Eroberung hat uns indessen einige Opfer gekostet. Die optischen Erscheinungen treten jetzt als besondere Fälle der elektrischen auf; solange sie isoliert da standen, war es leicht, sie durch Bewegungen zu erklären, die man bis in ihre Einzelheiten zu kennen glaubte; es ging sie eben nur allein an; jetzt aber muss sich eine Erklärung, um annehmbar zu sein, zwanglos über das ganze elektrische Gebiet erstrecken. Und das geht nicht ohne Schwierigkeiten.

Das Befriedigendste, was wir in dieser Hinsicht haben, ist die Theorie von Lorentz; sie giebt, un widersprochen, die beste Rechenschaft von den bekannten Thatsachen, bringt in die Optik die grösste Zahl wahrer Beziehungen und ist diejenige, von der man sicherlich sehr viele Spuren in dem endgültigen Aufbau widerfinden wird. Trotzdem hat sie noch einen schwerwiegenden Mangel, auf den ich schon weiter oben hingewiesen habe. Sie widerspricht nämlich dem Newtonschen Prinzip von der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung; oder vielmehr dieses Prinzip wäre in den Augen von Lorentz nicht auf die Materie allein anzuwenden; damit es wahr wäre, müsste es von Wirkungen des Äthers auf die Materie und von der Gegenwirkung der Materie auf den Äther Rechenschaft geben. Das heisst: bis anders verfügt wird, die Dinge tragen sich wahrscheinlich nicht so zu.

Wie dem auch sei, dank Lorentz sind die Resultate Fizeaus über die Optik bewegter Körper, die Gesetze der normalen und anomalen Dispersion und der Absorption untereinander und mit anderen Eigenschaften des Äthers durch Beziehungen verknüpft, welche ohne Zweifel nicht mehr zerreißen werden. Beachten Sie die Leichtigkeit, mit der das neue Phänomen von Zeeman seinen Platz ganz bereit gefunden und selbst geholfen hat, die magnetische Drehung Faradays einzuordnen, welche sich sogar den Bemühungen Maxwells widersetzt hatte; diese Leichtigkeit beweist, dass die Theorie von Lorentz keine künstliche Lösung ist, bestimmt, dereinst zu Grunde zu gehen. Man wird sie wahrscheinlich modifizieren, man wird sie aber nicht über Bord werfen.

Aber Lorentz hatte keinen anderen Ehrgeiz, als in einem einzigen Ganzen die ganze Optik und Elektrodynamik bewegter Körper zu begreifen; er beanspruchte nicht, eine mechanische Erklärung davon zu geben. Larmor geht weiter; indem er die Theorie von Lorentz soweit sie wesentlich ist, beibehält, pflöpft er ihr gleichsam die Ideen von Mac-Cullagh über die Richtung der Ätherbewegungen auf. Sogestreich dieser Versuch auch ist, der Mangel der Lorentzschen Theorie bleibt bestehen und

wird sogar noch schwerwiegender. Nach Lorentz wissen wir nicht, welcher Art die Ätherbewegungen sind; dank dieser Unkenntnis könnten wir ihnen solche zuschreiben, dass sie diejenigen der Materie kompensieren und die Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung wieder herstellen. Nach Larmor kennen wir die Bewegung des Äthers und wir können konstatieren, dass die Kompensation nicht eintritt.

Wenn Larmor nach meiner Meinung Schiffbruch gelitten hat, heisst das, dass eine mechanische Erklärung unmöglich ist? Nichts weniger als das: ich habe oben gesagt, dass eine Erscheinung, welche den zwei Prinzipien der Energie und der kleinsten Wirkung gehorcht, eine unendliche Anzahl mechanischer Deutungen zulässt; es ist das ebenso mit den optischen und den elektrischen Erscheinungen.

Aber das genügt nicht: damit eine mechanische Erklärung gut ist, muss sie einfach sein; um unter all den möglichen wählen zu können, muss man andere Gründe haben, als nur die Notwendigkeit, eine Wahl treffen zu müssen. Nun wohlan, eine Theorie, welche dieser Bedingung genügt, und mit der wir folglich etwas anfangen können, haben wir noch nicht. Müssen wir uns darüber beklagen? Das hiesse, das Ziel vergessen, nach welchem wir streben; nicht der Mechanismus ist es, sondern die Einheit ist das wahre und einzige Ziel.

Wir müssen also unseren Ehrgeiz zügeln; wir wollen nicht versuchen, eine mechanische Erklärung zu formulieren, wir wollen zufrieden sein, dass wir immer eine finden könnten, wenn wir wollten. Soweit haben wir Erfolg gehabt; das Prinzip von der Erhaltung der Energie hat immer nur Bestätigungen erfahren; ein zweites Prinzip hat sich ihm angeschlossen, dasjenige der kleinsten Wirkung in der Form, welche für die Physik brauchbar ist. Auch es ist immer bestätigt worden, wenigstens soweit die umkehrbaren Erscheinungen in Betracht kommen, die also den Gleichungen von Lagrange, d. h. den allgemeinsten Gesetzen der Mechanik, gehorchen.

Die nichtumkehrbaren Erscheinungen sind sehr viel widerspenstiger. Indessen gehorchen auch sie und suchen sich der Einheitlichkeit unterzuordnen. Das Licht, welches sie aufgeheitelt hat, ist vom Carnotschen Prinzip ausgegangen. Lange Zeit hat sich die Thermodynamik mit der Untersuchung der Ausdehnung und der Zustandsänderungen der Körper begnügt. Seit einiger Zeit hat sie sich ein Herz gefasst und ihren Wirkungskreis erweitert. Wir verdanken ihr die Theorie der galvanischen Kette und diejenige der thermoelektrischen Erscheinungen. Ja, es giebt in der ganzen Physik keinen Winkel, den sie nicht untersucht hat, und sie hat sich selbst an die Chemie heran-

gemacht. Überall herrschen dieselben Gesetze, überall findet man hinter den verschiedenartigen Erscheinungen das Carnotsche Prinzip wieder, überall auch jenen so wunderbar abgeleiteten Begriff der Entropie, welcher ebenso allgemein zu sein scheint, wie derjenige der Energie, und wie dieser eine tiefere Wirklichkeit zu verhüllen scheint. Die strahlende Wärme schien sich ihm entziehen zu wollen; sie hat sich in neuester Zeit unter dieselben Gesetze beugen lassen. Von hier aus sind uns neue Analogien aufgegangen, die sich oft bis in die Einzelheiten verfolgen lassen; der Ohmsche Widerstand gleicht der Zähigkeit der Flüssigkeiten, die Hysteresis würde sich der Reibung der Flüssigkeit vergleichen lassen. In allen Fällen scheint die Reibung der Typus zu sein, durch den sich die verschiedensten nichtumkehrbaren Erscheinungen nachahmen lassen und diese Verwandtschaft ist eine wirkliche und tieferliegende.

Man hat auch eine sogenannte mechanische Erklärung dieser Erscheinungen gesucht. Sie gaben sich aber nicht dazu her. Um eine solche zu finden, muss man annehmen, dass die Nichtumkehrbarkeit nur eine scheinbare ist, dass die elementaren Erscheinungen umkehrbar sind und den bekannten Gesetzen der Dynamik gehorchen. Aber die Elementarerscheinungen sind äusserst zahlreich und verschwimmen mehr und mehr ineinander, so dass für unsere groben Sinne alles nach der Einheitlichkeit zu streben scheint, das heisst, dass scheinbar alles in demselben Sinne, ohne Hoffnung auf Wiederkehr, verläuft. Die scheinbare Nichtumkehrbarkeit ist so nur eine Wirkung des Gesetzes der grossen Zahl. Nur ein Wesen, dessen Sinne unendlich fein wären, wie der imaginäre Dämon Maxwells, könnte dieses unlösbare Knäuel entwirren und die Welt wieder rückwärts laufen lassen.

Diese Auffassung, die sich an die kinetische Theorie der Gase anschliesst, hat grosse Anstrengungen gekostet und ist doch im Grossen und Ganzen unfruchtbar gewesen; sie wird aber noch fruchtbar werden können. Es ist hier nicht der Ort zur Prüfung, ob sie nicht zu Widersprüchen führt und ob sie sich der wahren Natur der Dinge anpasst.

Indessen wollen wir doch die originellen Ideen des Herrn Gouy über die Brownsche Bewegung erwähnen. Nach diesem Forscher würde sich diese einzigartige Bewegung dem Carnotschen Prinzipie entziehen; die Teilchen, welche er in Schwung versetzt, wären kleiner als die Maschen dieses so engen Netzes, sie wären also im stande, sie zu entwirren und dadurch die Welt rückwärts laufen zu lassen. Man glaubt hier fast den Maxwellschen Dämon an der Arbeit zu sehen.

Alles in allem ordnen sich die seit Alters

bekannten Erscheinungen besser und besser, neue Erscheinungen kommen und fordern ihren Platz; die meisten von ihnen, wie diejenige von Zeeman, haben ihn sogleich gefunden.

Aber wir haben noch die Kathodenstrahlen, die X-Strahlen, diejenigen des Urans und des Radiums. Eine ganze Welt, von der sich niemand etwas träumen liess. Was für unerwartete Gäste sind hier noch unterzubringen!

Niemand kann noch voraussehen, welchen Platz sie erhalten werden. Aber ich glaube nicht, dass sie die allgemeine Einheit stören, ich glaube vielmehr, dass sie dieselbe vervollständigen werden. Denn auf der einen Seite scheinen die neuen Strahlungen mit den Erscheinungen der Lumineszenz in Verbindung zu stehen; sie erregen nicht nur die Fluoreszenz, sondern sie entstehen zuweilen unter denselben Bedingungen wie diese.

Auch sind sie nicht ohne Verwandtschaft zu den Ursachen, welche den elektrischen Funken unter der Wirkung des ultravioletten Lichtes überschlagen lassen.

Und schliesslich glaubt man, überall bei diesen Erscheinungen wirkliche Ionen wiederzufinden, freilich mit unvergleichlich grösseren Geschwindigkeiten behaftet, wie bei den Elektrolyten.

Alles das ist noch sehr unbestimmt, aber es wird sich schon präzisieren.

Die Phosphoreszenz und die Wirkung des Lichtes auf den Funken waren ein wenig isolierte und daher von den Forschern etwas vernachlässigte Gebiete. Man kann jetzt hoffen, eine neue Richtschnur zu finden, welche ihre Verbindungen mit der allgemeinen Wissenschaft erleichtern wird.

Wir werden aber nicht nur neue Phänomene entdecken, sondern in denjenigen, die wir zu kennen glaubten, eröffnen sich unvorhergesehene Ausblicke. Im freien Äther bewahren die Gesetze ihre majestätische Einfachheit; aber die sogenannte Materie scheint mehr und mehr verwickelt; alles, was man von ihr weiss, ist immer nur angenähert, und unsere Formeln erfordern in jedem Augenblick neue Glieder.

Nichtsdestoweniger sind die Begrenzungen nicht durchbrochen, die Beziehungen, die wir zwischen den Dingen erkannt hatten, die wir für einfach hielten, bestehen zwischen denselben Objekten auch noch, wenn wir ihre Kompliziertheit erkennen, und hierauf allein kommt es an. Unsere Gleichungen werden zwar immer komplizierter, indem wir sie mehr und mehr der Kompliziertheit der Natur anpassen; aber nichts hat sich in den Beziehungen geändert, welche diese Gleichungen untereinander abzuleiten gestatten. Mit einem Wort, die Gestalt dieser Gleichungen ist bestehen geblieben.

Nehmen wir als Beispiel die Gesetze der Reflexion; Fresnel hatte sie auf Grund einer einfachen und verführerischen Theorie aufgestellt, die das Experiment zu bestätigen schien. Später zeigten genauere Untersuchungen, dass diese Bestätigung nur eine angenäherte war. Sie zeigten überall Spuren von elliptischer Polarisation. Aber dank der Stütze, die uns die erste Annäherung verlieh, fand man sofort die Ursache dieser Anomalien, die in der Gegenwart einer Übergangsschicht zu suchen ist; und die Fresnelse Theorie hatte Bestand in dem, was ihr Wesen ausmachte.

Man kommt hier um folgende Betrachtung nicht herum: alle diese Beziehungen würden unbemerkt geblieben sein, wenn man von vornherein eine Ahnung gehabt hätte von der Kompliziertheit der Dinge, die sie verbinden. Es ist nicht lange her, da wurde gesagt, wenn Tycho zehnmal genauere Instrumente gehabt hätte, so würden wir niemals weder einen Kepler, noch einen Newton, noch eine Astronomie gehabt haben. Es ist ein Unglück für eine Wissenschaft, wenn sie zu spät aufkommt, zu einer Zeit, wo die Beobachtungsmittel schon zu vollkommen sind. Das trifft heute für die physikalische Chemie zu; ihre Begründer sehen sich in ihren Berechnungen durch die dritte und vierte Dezimale behindert; glücklicherweise sind es Menschen von einem unerschütterlichen Glauben.

In dem Masse, als man die Eigenschaften der Materie kennen lernt, sieht man dort die Kontinuität vorherrschen. Seit den Arbeiten Andrews' und van der Waals' giebt man sich von der Art und Weise Rechenschaft, in der sich der Übergang von dem flüssigen in den

gasförmigen Zustand vollzieht, sowie davon, dass dieser Übergang kein plötzlicher ist. Ebenso besteht keine Kluft zwischen dem flüssigen und dem festen Zustande, und es ist bemerkenswert, dass man in diesem Bande¹⁾ neben einer Arbeit über die Starrheit der Flüssigkeiten eine Abhandlung über die Ausströmung derselben findet.

Bei diesem Versuche verliert die Einfachheit ohne Zweifel; diese Erscheinungen wurden durch drei gerade Linien dargestellt, und man muss dieselben jetzt durch mehr oder weniger komplizierte Kurven verbinden. Dafür aber gewinnt die Einfachheit dadurch ausserordentlich. Die voneinander getrennten Gebiete gewährten dem Geiste Ruhe, aber sie befriedigten ihn nicht.

Schliesslich sind die Methoden der Physik in ein neues Gebiet eingedrungen, in das der Chemie; die physikalische Chemie ist entstanden. Sie ist noch sehr jung, aber man sieht schon, dass sie uns Erscheinungen, wie die Elektrolyse, die Osmose, die Bewegungen der Ionen unter einander zu verknüpfen gestattete.

Was können wir aus dieser kurzen Übersicht schliessen?

Die Schlussabrechnung ergibt, dass man sich der Einheitlichkeit genähert hat; man ist nicht so schnell vorangekommen, als man es vor fünfzig Jahren hoffte, man ist nicht immer den Weg gegangen, den man voraussah; aber man hat doch schliesslich sehr viel an Boden gewonnen.

¹⁾ Vergl. Rapports du Congrès International de Physique, tome I, 478 ff.

(Aus dem Französischen übersetzt von H. Th. Simon.)

REFERATE.



Der Schnellschreibtelegraph von Pollak-Virág.

Im Jahrgang 1, 484, 1900 dieser Zeitschrift ist von Herrn C. Déguisne nach einem von ihm im Physikalischen Verein zu Frankfurt a.M. gehaltenen Vortrage das dem Pollak-Virág'schen System zu Grunde liegende Prinzip erläutert worden. Die zu übermittelnden Zeichen der Morseschrift wurden durch perforiertes Papier hergestellt, mittelst Schleifbürsten und Kontaktwalze die Stromstösse nach der Em-

pfangsstation geleitet und dort durch einen vibrierenden Lichtstrahl auf photographisches Papier übertragen. Die so erzeugte Schrift bestand aus Zickzacklinien, welche den Punkten und Strichen des Morsealphabets entsprechen; es musste demnach jedes Telegramm vor der Aushändigung an den Empfänger erst noch einmal abgeschrieben werden.

Die Erfinder haben nun, wie schon am Schlusse des erwähnten Vortrags angedeutet wurde, in neuerer Zeit ihren Apparat wesentlich verbessert, indem die Depesche jetzt direkt in lateinischer Kurrentschrift geliefert wird und somit im Original an den Empfänger gegeben werden kann. Die Art und Weise